

研究資料

森林の多面的機能に関わる土壌・生物要因の林相間比較（I） －表層土壌の理学性－

中川昌彦*・大野泰之*・山田健四*・八坂通泰*・寺澤和彦*

Comparison of soil and biodiversity among forest types (I) －physical properties of surface soil－

Masahiko NAKAGAWA*, Yasuyuki OHNO*, Kenji YAMADA*, Michiyasu YASAKA*, Kazuhiko TERAZAWA*

要 旨

森林の多面的機能に関わる土壌要因の林相間比較を行うため、同一の地質（第三紀砂岩・泥岩互層）、気象条件、斜面方位に成立する林齢40～50年生の、ウダイカンバ二次林、ウダイカンバ人工林、カラマツ人工林、トドマツ人工林およびトウヒ類人工林の計5林分において、土壌断面の記載と表層土壌の理学性の調査を行った。

A₀層の量は、ウダイカンバ人工林で少なく、カラマツ人工林とトウヒ類人工林で多かった。A層はカラマツ人工林とトウヒ類人工林で薄く、A層の構造は、トウヒ類人工林で粒状、それ以外では塊状となっていた。

最小容気量には、林相間での有意な違いはみられなかった。最大容水量、全孔隙率、粗孔隙率、細孔隙率、成長有効水分率、全有効水分率については、主としてトドマツ人工林で他の林分よりも有意に高かった以外には、林相による違いはほとんどみられなかった。

これらの結果から、第三紀砂岩・泥岩互層を母材とする土壌の広葉樹二次林で林相転換を行った場合、トウヒ類人工林で土壌構造が乾燥している林地でよく見られる粒状に変化し、トウヒ類人工林やカラマツ人工林でA層の発達抑制され、またトドマツ人工林で最大容水量、粗孔隙率、細孔隙率および成長有効水分率が高くなる可能性が示唆された。しかしそれ以外については、40～50年という期間では土壌の理学性が大きく変化する可能性は小さいと考えられた。

キーワード：植栽樹種、有効水分率、孔隙、最大容水量、最小容気量、土壌断面

はじめに

我が国では森林を管理する上で、木材生産だけでなく水源涵養機能や国土保全機能など森林の公益的機能の発揮が古くから求められてきた。また近年、持続可能な森林経営が求められるようになった。実際、温帯林等の保全と持続可能な経営の基準・指標を策定・運用するための取り組みとして日本も参加しているモントリオール・プロセスでは、木材生産以外にも生物多様性の保全や土壌及び水資源の保全と維持などが基準とされている。また北海道においても、2003年3月に森林づくり条例に基づいて策定され2008年3月に見直しされた「北海道森林づくり基本計画」の中で、一貫して森林の多面的機能の発揮を重視した森林整備の指向がうたわれている。このような中で、林相転換のような施業の影響についても、生物多様性の保全や土壌及び水資源の保全と維持など多面的

機能の面から評価することが期待されるようになった。

林相の違いが森林の持つ上記の多面的機能に与える影響を評価するためには、林相以外の条件ができるだけ同じ調査地で様々な機能に関わる要因を定量的に評価することが望ましい。北海道においては、林相による森林の機能の違いについては、土壌（山根ら、1979；山本・真田、1970a、1970b；東、1989）や下層植生（八坂・小山、1998）、小型哺乳類（太田、1984）、昆虫（石濱・原、2006）などについて報告されてきたが、林相の違いが森林の多面的機能に及ぼす影響について、1箇所でも様々な要因について定量的に評価した事例はない。そこで、多面的機能のうち生物多様性の保全機能として下層植生、小型哺乳類、オサムシ亜科昆虫、土壌動物などの生物要因に着目し、土壌及び水資源の保全と維持機能としては、それらに関連の深い表層土壌の理学性に着目した。そして、地質や環境条件が同一な森林において、それらの土壌及び生

* 北海道立林業試験場 Hokkaido Forestry Research Institute, Bibai, Hokkaido 079-0198

[北海道林業試験場研究報告 第46号 平成21年3月, Bulletin of the Hokkaido Forestry Research Institute, No.46, March 2009]

物的な諸要因に対する林相の違いの影響を検討することとした。以下の報告では、今回の調査結果をとりまとめるとともに、データを保存・公開することを目的に、(I) 表層土壌の理学的性、(II) 下層植生、(III) 小型哺乳類、(IV) 昆虫、地表性オサムシ科、(V) 土壤動物、のシリーズで報告することとした。

竹下(1985)や有光ら(1995)は、土壌の粗孔隙や細孔隙は、水源涵養機能に直接関わる土壌の透水性や保水力を維持する上で重要な指標となることを報告しており、林相によって水源涵養機能がどのような影響を受けるかを評価するためには、土壌の理学的性の調査が必要である。そこで本報告では、各林相における土壌断面と表層土壌の理学的性について報告する。

調査地

調査は、北海道美唄市にある北海道立林業試験場の光珠内実験林で、2006年5月から2007年10月に行った。同実験林は北緯43°16′ 21.57″ ~ 43°16′ 53.79″, 東経141°51′ 33.55″ ~ 141°53′ 15.19″ に位置し、標高110m~320mにまたがっており、全体として南向き斜面に位置している。土壌は褐色森林土で、表層地質は第三紀の砂岩・泥岩互層からなる(国土庁土地局, 1977)。最寄りの美唄市における1979年~2000年にかけての年平均気温は7.1℃, 最寒月(1月)の平均気温は-6.7℃, 最暖月(8月)の平均気温は21.1℃, 年平均降水量は1,155mm, 平均最大積雪深は115cmであり、11月下旬より4月下旬までは根雪の期間である。1960年代に山火事があり、その後ウダイカンバ(*Betula maximowicziana* Regel) やシラカンバ(*Betula platyphylla* var. *japonica* (Miq.) Hara), ミズナラ(*Quercus crispula* Blume) などを中心とする広葉樹二次林が発達した。広葉樹二次林の林床ではクマイザサ(*Sasa senanensis*

(Franchet *et* Savatier) Rehder) が優占している。一方で、この実験林では、様々な樹種の人工林も造成されている。

本調査では、この実験林内で林齢40~50年生で南西向き斜面に位置している林分という条件で、約40年前の山火事後に成立したウダイカンバを主体とする天然生二次林、火入地拵後に造林したウダイカンバ、カラマツ(*Larix kaempferi* (Lamb.) Carrière), トドマツ(*Abies sachalinensis* (Fr. Schm.) Masters) およびトウヒ属(*Picea* A. Dietrich) の人工林の計5林分を抽出した。それらは、①ウダイカンバ保育試験林(以下ウダイカンバ二次林)、②ウダイカンバ産地試験林(以下ウダイカンバ人工林) ③ニホンカラマツ見本林(以下カラマツ人工林)、④トドマツ精英樹次代検定林(以下トドマツ人工林)、⑤ルーベンストウヒ産地試験林(以下トウヒ類人工林)である。各林分の2006年現在の林況を表-1に示す。ウダイカンバ二次林では立木密度が高く、平均樹高は低かった。なお、ウダイカンバ二次林にはウダイカンバ以外にミズキ(*Cornus controversa* Hemsley), シナノキ(*Tilia japonica* (Miq.) Simonkai), ナナカマド(*Sorbus commixta* Hedl.), ホオノキ(*Magnolia obovata* Thunb.) などの広葉樹が生育している。ウダイカンバ人工林では他の林分と比較して蓄積が低かった。カラマツ人工林とトドマツ人工林では、適切な間伐が行われており、他の林分と比較して平均直径および平均樹高が大きく、また蓄積も高かった。トウヒ類人工林は間伐遅れの状態にあり、他の林分よりも立木密度が高く、また平均樹高は低かった。なお、トウヒ類人工林には、ルーベンストウヒ(*Picea rubens* Sarg.) だけでなく、トウヒ属のその他の樹種も植栽されている。

林地の傾斜はいずれの林分でも20°前後であった。トドマツ人工林とトウヒ類人工林は、林床植生にクマイザサを欠い

表-1 調査対象林分と2006年の林況

	ウダイカンバ 二次林*	ウダイカンバ 人工林	カラマツ 人工林	トドマツ 人工林	トウヒ類 人工林
台帳番号	224	101B	104	107	213
植栽年	—	1961年	1964年	1965年	1966年
地拵方法	—	全刈火入	全刈火入	全刈火入	全刈火入
植栽密度(本/ha)	—	2,100	4,000	4,500	4,000
2006年現在の林齢	約40年生	46年生	43年生	42年生	41年生
立木密度(本/ha)	2,740	415	500	525	2,500
蓄積(m ³ /ha)	182.5	89.0	399.1	387.6	221.7
胸高断面積合計(m ² /ha)	28.8	10.7	36.9	37.9	38.0
平均胸高直径(cm)	10.6	17.8	30.3	30.1	13.6
平均樹高(m)	10.5	17.5	22.8	20.7	10.0
主たる下層植生	クマイザサ	クマイザサ	クマイザサ	ササ以外の草本	植生が衰退
斜度(°)	21	17	18	17	16

*ウダイカンバ二次林の数値には、ウダイカンバ以外の広葉樹も含む

ていた。

方法

各調査林分においてそれぞれの林分のほぼ中央で、林業機械の走行跡や観察用の歩道など明らかに土壌攪乱を受けた痕跡のある場所を避けて、上辺と下辺が等高線と平行になるように20m×20mの方形区を各林分1つずつ設定した。これらの方区内で、幅1m、深さ50～70cm程度の土壌断面を作成した。八木(1982)に従って、母材、層位、層位の厚さ、土色、還元状態、土性、水分状態、および構造を記載した。また、山中式土壌硬度計を用いて、各層位とも5点ずつで土壌の硬度を測定した。

1つの林分につき6つの地点で土壌試料を採取した。土壌採取地点は、各方形区の4隅と、上辺および下辺のそれぞれの中点とした。縦25cm×横25cmの方形内においてA₀層の全量を採取し、実験室に持ち帰った後、80℃で72時間乾燥し、絶乾重を測定した。鉍質土壌の表層から0～5cmと5～10cmの深さにおいて、100mlの採土円筒を用いて土壌を採取した。採取した土壌は、円筒にビニールテープを巻いて乾燥を防ぎ、実験室に持ち帰って、冷蔵庫に保管した。

採土円筒により採取した土壌を用いて、河田(1976)の方法によって最大容水量、最小容気量、全孔隙率、粗孔隙率、細孔隙率を測定した。また久馬(1984)の有効水の概念を参考に、重力流去水分率、成長有効水分率、全有効水分率をそれぞれ算出した。重力流去水分率とは、降水によって土壌が水で飽和してから概ね24時間以内に重力によって浸透排水されるため、土壌内に保持されずまた植物は利用できない水分であり、飽水時と空気圧6.19kPa (pF1.8)の時に保持される水分の差から求められる。成長有効水分率とは、植物が成長するのに適した範囲の水分であり、空気圧6.19kPa (pF1.8)と49.15kPa (pF2.7)の時に保持される水分の差から求められる。全有効水分率とは、成長できるかどうかにかかわらず、植物が生存できる範囲の水分であり、空気圧6.19kPa (pF1.8)と1,554.25kPa (pF4.2)の時に保持される水分の差から求められる。これらの空気圧の時に土壌に保持される水分を求めるために、広域土壌pF測定器(大起理化学工業株式会社製、DIK-3404)を用いた。

林分によって、最大容水量、最小容気量、全孔隙率、粗孔隙率、細孔隙率、飽水時と上記のそれぞれの空気圧の時の体積水分率、重力流去水分率、成長有効水分率、全有効水分率に違いがあるかどうかを、一元配置分散分析によって解析し、有意な違いがみられた場合には、Tukey検定によって林分間で多重比較を行った。有意水準(α)は0.05とした。

結果と考察

土壌断面

調査対象林分における土壌断面の調査結果を表-2に示す。

A₀層は、いずれの林分でもL層やF層によって構成されており、H層はみられなかった。A₀層の絶乾重量は、ウダイカンバ人工林で小さく、カラマツ人工林とトウヒ類人工林で大きかった。一方でA層は、カラマツ人工林とトウヒ類人工林で薄かった。カラマツやトウヒ属の落葉は分解しにくい(Nihlgård, 1971; 山根ら, 1979; 杉本・川崎, 2005)、A₀層が堆積した一方で、A層の発達が抑制された可能性がある。植栽後40～50年の間にこのような変化がおきるとすれば、カラマツ人工林やトウヒ類人工林で長伐期施業を行ったり伐採収穫後に同樹種で再造林したりする場合には、さらにA層の発達が抑制される可能性がある。

A層やB層の厚さには林分間で違いが見られ、特にトウヒ類人工林では両方の層とも薄かった。トウヒ類人工林では下層植生がほとんどなく(中川ら, 2009)、土壌浸食がおきやすい条件であったが、傾斜はゆるやかであり(表-1)、またA₀層も厚く地表がリターで覆われており、リル浸食や雨滴による土柱も観察されなかったため、土壌層の薄さは土壌浸食によるものとは考えにくい。本研究の結果からだけでは、トウヒ類人工林におけるA層、B層の薄さの原因を考察することは困難である。

土壌の硬度は、トウヒ類人工林のA層で小さかったが、これは後ほど述べるように土壌構造が粒状になっているためと考えられた。

土色については林分による大きな違いはなかった。また、いずれの林分も還元状態にはなく、水分状態についても林分による違いはなかった。

A層の土壌構造は、トウヒ類人工林で粒状となっていたが、それ以外では塊状であった。一般に土壌の構造は土の乾湿の影響を強く受け(Brady, 1984)、乾燥しやすいところでは細粒状や粒状に、乾湿が繰り返される粘土含有率が高いところでは堅果状に、水分環境の中庸のところでは塊状や団粒状になりやすいことが知られている(八木, 1982)。トウヒ属の林分では土壌が乾燥することが報告されており(Nihlgård, 1971)、このためトウヒ類人工林で土壌の構造が塊状から粒状に変化した可能性がある。

土壌の理化学性

表-3-1～5は、土壌の理化学性の調査結果を示したものである。最大容水量は、0～5cmの深さではトドマツ人工林で他の4つの林分よりも、また5～10cmの深さではトドマツ人工林でウダイカンバ二次林、カラマツ人工林、トウヒ類人工林よりも有意に高かった。最小容気量には、林分間で有意な違いはみられなかった。全孔隙率は、0～5cmの深さではトドマツ人工林のほうがウダイカンバ二次林よりも、また5～10cmの深さではトドマツ人工林のほうがウダイカンバ二次林やカラマツ人工林、トウヒ類人工林よりも有意に高かった。粗孔隙率は、0～5cmの深さでは林相による有意な違

いは見られなかったが、5~10cmの深さではトドマツ人工林のほうがウダイカンバ人工林よりも有意に高かった。細孔隙率は、0~5cmの深さではトドマツ人工林のほうがウダイカンバ二次林やカラマツ人工林よりも有意に高く、5~10cmの深さではウダイカンバ人工林のほうがウダイカンバ二次林やカラマツ人工林、トウヒ類人工林よりも有意に高かった。

重力流去水分率は、0~5cmの深さでは林相による有意な違いは見られなかったが、5~10cmの深さではトドマツ人工林のほうがウダイカンバ人工林やカラマツ人工林よりも有意に高かった。成長有効水分率は、0~5cmの深さではトドマツ人工林のほうがウダイカンバ人工林やカラマツ人工林、トウヒ類人工林よりも有意に高く、5~10cmの深さではウダイカンバ二次林やトドマツ人工林のほうがウダイカンバ人工林やカラマツ人工林よりも有意に高かった。全有効水分率は、0~5cmの深さでは林相による有意な違いは見られなかったが、5~10cmの深さでウダイカンバ二次林のほうがトウヒ類人工林よりも有意に高くなっていった。

測定した項目や土壌の深さによって個々の統計検定の結果にばらつきはあるものの、全体としてはトドマツ人工林では他の林分よりも最大容水量、粗孔隙率、細孔隙率および成長有効水分率が高い傾向があった以外には、林相間で一定の傾向はみられなかった。

天然林を人工林化した場合に土壌の理化学性がどのように変化するかについて過去に報告された内容は様々である。山根ら(1979)は、カラマツ造林地と周辺の広葉樹林で土壌の理化学性や化学性を比較しているが、土壌の理化学性については大きな違いは報告していない。山本・真田(1970b)は、トドマツ造林地においては、B層の孔隙量や最小容気量は林齢の増大にともなって減少したが、A層では理化学性の変化はみられなかったと報告している。しかし東(1989)は、広葉樹林よりもカラマツ造林地やトドマツ造林地において表層土壌の全孔隙率が高かったと報告しており、またNilgård(1971)は、ヨーロッパトウヒ(*Picea abies* Karst.)を植栽した後長い期間が経過した林分では、A₀層が厚く堆積し、また一部の林分ではL層やF層の厚いムル型からH層の厚いモル型へと変化するために、隣接するヨーロッパブナ(*Fagus sylvatica* L.)の天然林よりも表層土壌の全孔隙率が増加し、また保水力が低下したことを報告している。本調査地では、落葉の分解が遅いとされるトウヒ属が植栽されているトウヒ類人工林でもH層が観察されなかったため、Nilgård(1971)が報告しているような保水力の低下にはつながらなかったのではないかと考えられるが、トドマツ人工林において表層土壌の理化学性が他の林分と異なった理由について、本研究の結果や既存の研究報告から推測することは困難である。トドマツを植栽することで土壌の理化学性が変化した可能性が大きいのが、実験林の中でさえも母材や土壌の深さが異なっているため、たまたま土壌の理化学性が異なったところにトドマツ人工林が造成された可

能性を完全には否定することができない。このため今後は、林分の反復をとって調査を行い、トドマツの植栽によって本当に土壌の理化学性が変化するかどうかについて、検証する必要がある。

まとめ

本研究の結果から、第三紀砂岩・泥岩互層を母材とする土壌の広葉樹二次林を林相転換した場合、トウヒ類人工林で土壌構造が乾燥している林地でよく見られる粒状に変化し、トウヒ類人工林やカラマツ人工林でA層の発達が抑制され、またトドマツ人工林で最大容水量、粗孔隙率、細孔隙率および成長有効水分率が高くなる可能性が示唆された。しかしそれ以外については、40~50年という期間では土壌の理化学性が大きく変化する可能性は小さいと考えられた。したがって、今回の調査地のような条件の場合においては、林相転換を行っても、40~50年という期間では森林の多面的機能の1つである水源涵養機能が低下するとは考えられなかった。

引用文献

- 有光一登・荒木誠・宮川清・小林繁男・加藤正樹 1995 宝川森林理水試験地における土壌孔隙量をもとにした保水容量の推定－初沢小試験流域1号沢および2号沢の比較－. 森林立地 37(2):49-58.
- Brady N C 1984 The nature and properties of soils -ninth edition-. 750pp. Macmillan Publishing Company, New York
- 東 敏生 1989 林地貯水能の定量化に係わる因子の測定・分析に関する試験. 広島県林試研報 23:45-91.
- 石濱宣夫・原秀穂 2006 北海道の落葉広葉樹林に生息する昆虫群集の多様性と林分状況との関係. 北林試研報 43:1-21.
- 河田 弘 1976 第2編 第3章 採土円筒による自然状態の土壌の理学的性質. 河田弘・小島俊郎(著) 環境測定法Ⅳ－森林土壌－ pp.79-92. 共立出版株式会社, 東京
- 国土庁土地局 1977 土地分類図(北海道Ⅲ空知支庁)
- 久馬一剛 1984 VII 土壌の物理性. 久馬一剛ら(著) 新土壌学 pp.97-130. 株式会社朝倉書店, 東京
- 中川昌彦・大野泰之・山田健四・長坂有・八坂通泰 2009 森林の多面的機能に関わる土壌・生物要因の林相間比較(Ⅱ)－下層植生－. 北林試研報 46:137-144.
- Nilgård B 1971 Pedological influence of spruce planted on former beech forest soils in Scania, South Sweden. Oikos 22:302-314.
- 太田嘉四夫(編) 1984 北海道産野ネズミ類の研究. 400pp. 北海道大学図書刊行会, 札幌
- 杉本真由美・川崎圭造 2005 カラマツ人工林化にともなう土壌化学性の変化－隣接する広葉樹林土壌との比較－.

- 森林立地 47 (1): 29-37.
 竹下敬司 1985 森林土壌と水源かん養機能. 森林立地 27 (2): 19-26.
 八木久義 1982 3 野外における土壌および生成環境の調べ方. 森林土壌研究会 (編) 森林土壌の調べ方とその性質 pp. 28-64. 林野弘済会, 東京
 山本 肇・真田悦子 1970a トドマツ落葉の分解が土壌におよぼす影響. 林試研報 229: 63-92.
 山本 肇・真田悦子 1970b トドマツ造林木の養分吸収量と造林地における養分循環ならびに土壌の変化について. 林試研報 229: 93-121.
 山根玄一・薄井五郎・菊地 健 1979 カラマツ林分化にともなう土壌の変化. 北林試研報 17: 23-37.
 八坂通泰・小山浩正 1998 野生植物の生育場所としての人工林の評価－道南地方における天然林とトドマツ人工林の比較－. 日林北支論 46: 188-190.

表-2 調査対象林分における土壌断面の調査結果

調査項目	ウダイカンバ 二次林	ウダイカンバ 人工林	カラマツ 人工林	トドマツ 人工林	トウヒ類 人工林
母材	砂岩/泥岩	砂岩/泥岩	砂岩	砂岩	泥岩
土壌型	B ₀	B ₀	B ₀	B ₀	B _a
A ₀ 層の厚さ (cm)	5.0	1.8	3.5	3.0	3.0
L層の厚さ (cm)	3.0	1.3	2.0	2.0	2.0
F層の厚さ (cm)	2.0	0.5	1.5	1.0	1.0
H層の厚さ (cm)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A ₀ 層の絶乾重量 (kg/ha)*	11,341 ± 1,573	7,907 ± 1,124	14,571 ± 5,880	11,208 ± 2,810	15,765 ± 3,051
A層の厚さ (cm)	14.0	15.0	7.0	12.0	7.0
A層の硬度 (kg/cm ²)	20.6	17.0	16.6	16.4	14.8
A層の土色	10YR 4/3	10YR 4/2	10YR 4/2	10YR 3/2	10YR 4/3
A層の還元状態	なし	なし	なし	なし	なし
A層の土性	SiL	SiL	SiL	L	L
A層の水分状態	潤	潤	潤	潤	潤
A層の構造	塊状	塊状	塊状	塊状	粒状
B層の厚さ (cm)	14.0	13.0	23.0	18.0	13.0
B層の硬度 (kg/cm ²)	27.8	21.6	23.2	22.8	21.8
B層の土色	10YR 5/5	10YR 5/3	10YR 5/4	10YR 4/4	10YR 4/4
B層の還元状態	なし	なし	なし	なし	なし
B層の土性	SiCL	SiL	SiL	CL	CL
B層の水分状態	潤	潤	潤	潤	潤
B層の構造	塊状	塊状	塊状	塊状	塊状
C層の厚さ (cm)	25.0+	25.0+	25.0+	35.0+	13.0+
C層の硬度 (kg/cm ²)	31.2	28.0	24.2	24.2	27.2
C層の土色	10YR 6/5	2.5YR 6/4	10YR 5/6	10YR 4/4	10YR 4/4
C層の還元状態	なし	なし	なし	なし	なし
C層の土性	SL	SiL	SCL	CL	CL
C層の水分状態	潤	潤	潤	潤	潤
C層の構造	なし	なし	なし	なし	なし

*平均 ± 標準偏差を示す

表-3-1 調査対象林分における土壌の理化学性

調査項目	表層からの深さ	ウダイカンバ 二次林	ウダイカンバ 人工林	カラマツ 人工林	トドマツ 人工林	トウヒ類 人工林
最大 含水量 (容積%)	0 ~ 5 cm	53.5	49.5	53.6	61.2	48.9
		45.7	48.0	44.4	56.5	50.1
		49.9	53.0	48.7	57.2	49.7
		50.8	48.8	46.2	62.7	52.4
		50.6	50.4	53.8	59.5	56.5
		51.7	53.5	52.3	59.6	55.8
	平均±標準偏差	50.4 ^b ±2.6	50.5 ^b ±2.2	49.8 ^b ±4.0	59.5 ^a ±2.3	52.2 ^b ±3.3
	5 ~ 10cm	49.0	49.8	47.5	54.8	47.7
		41.8	49.7	43.7	53.9	53.3
		47.1	51.9	50.6	54.9	49.9
		48.3	53.0	47.6	59.9	42.5
		44.8	58.9	51.3	61.1	50.9
		49.5	53.3	45.0	57.2	50.7
	平均±標準偏差	46.8 ^b ±3.0	52.8 ^{a b} ±3.4	47.6 ^b ±3.0	57.0 ^a ±3.0	49.2 ^b ±3.7
最小 容気量 (容積%)	0 ~ 5 cm	2.4	17.1	7.3	0.0	7.3
		3.6	11.6	7.1	3.1	13.3
		5.2	1.9	9.5	9.4	9.2
		4.7	6.8	7.6	2.2	2.3
		7.3	1.7	5.8	0.0	0.0
		0.4	11.0	4.5	0.6	6.3
	平均±標準偏差	3.9 ^a ±2.4	8.4 ^a ±6.0	7.0 ^a ±1.7	2.6 ^a ±3.6	6.4 ^a ±4.8
	5 ~ 10cm	2.1	4.7	0.9	0.0	1.9
		3.4	0.0	4.6	0.7	1.9
		0.7	0.0	0.8	3.6	2.7
		0.0	2.7	1.5	0.0	0.0
		5.3	0.0	6.5	5.1	0.0
		2.7	0.0	0.0	0.0	0.3
	平均±標準偏差	2.4 ^a ±1.9	1.2 ^a ±2.0	2.4 ^a ±2.6	1.6 ^a ±2.2	1.1 ^a ±1.2
全 孔隙率 (容積%)	0 ~ 5 cm	55.9	66.6	60.8	61.1	56.2
		49.2	59.6	51.5	59.6	63.4
		55.1	54.8	58.1	66.6	58.9
		55.5	55.6	53.8	64.9	54.7
		57.9	52.1	59.6	59.1	55.3
		52.1	64.5	56.8	60.2	62.1
	平均±標準偏差	54.3 ^b ±3.1	58.9 ^{a b} ±5.7	56.8 ^{a b} ±3.5	61.9 ^a ±3.1	58.4 ^{a b} ±3.7
	5 ~ 10cm	51.0	54.5	48.4	54.4	49.6
		45.2	49.6	48.3	54.6	55.2
		47.8	51.2	51.4	58.5	52.6
		47.7	55.7	49.1	59.8	39.6
		50.1	55.1	57.8	66.2	50.0
		52.2	51.6	43.7	56.8	51.0
	平均±標準偏差	49.0 ^b ±2.6	53.0 ^{a b} ±2.5	49.8 ^b ±4.7	58.4 ^a ±4.4	49.7 ^b ±5.3

表-3-2 調査対象林分における土壌の理化学性

調査項目	表層からの深さ	ウダイカンバ 二次林	ウダイカンバ 人工林	カラマツ 人工林	トドマツ 人工林	トウヒ類 人工林
粗 孔隙率 (容積%)	0 ~ 5 cm	22.4	35.3	32.0	25.8	25.9
		21.2	23.0	21.3	20.5	34.8
		22.5	14.9	27.5	33.0	27.7
		24.0	21.5	23.9	31.2	17.9
		32.4	13.9	24.8	19.8	18.4
		19.4	30.0	25.4	17.2	29.4
	平均±標準偏差	23.7 ^a ± 4.6	23.1 ^a ± 8.4	25.8 ^a ± 3.6	24.6 ^a ± 6.5	25.7 ^a ± 6.6
	5 ~ 10cm	18.4	16.9	15.0	23.3	17.4
		19.7	12.2	18.2	17.4	24.0
		11.2	11.8	13.3	22.9	18.9
		17.6	16.4	13.7	24.8	7.0
		23.5	8.0	24.6	29.7	12.7
		19.0	11.4	9.6	13.1	15.2
	平均±標準偏差	18.2 ^a ± 4.0	12.8 ^b ± 3.4	15.7 ^a ± 5.2	21.9 ^a ± 5.8	15.9 ^a ± 5.8
細 孔隙率 (容積%)	0 ~ 5 cm	33.5	31.3	28.8	35.3	30.3
		28.0	36.6	30.2	39.1	28.6
		32.6	39.9	30.6	33.6	31.2
		31.5	34.1	29.9	33.7	36.8
		25.5	38.2	34.8	39.3	36.9
		32.7	34.5	31.4	43.0	32.7
	平均±標準偏差	30.6 ^b ± 3.2	35.8 ^a ± 3.1	31.0 ^b ± 2.1	37.3 ^a ± 3.8	32.8 ^a ± 3.4
	5 ~ 10cm	32.6	37.6	33.4	31.1	32.2
		25.5	37.4	30.1	37.2	31.2
		36.6	39.4	38.1	35.6	33.7
		30.1	39.3	35.4	35.0	32.6
		26.6	47.1	33.2	36.5	37.3
		33.2	40.2	34.1	43.7	35.8
	平均±標準偏差	30.8 ^b ± 4.2	40.2 ^a ± 3.6	34.1 ^b ± 2.6	36.5 ^a ± 4.1	33.8 ^b ± 2.3
飽水時 の体積 水分率 (容積%)	0 ~ 5 cm	53.5	49.5	53.6	61.2	48.9
		45.7	48.0	44.4	56.5	50.1
		49.9	53.0	48.7	57.2	49.7
		50.8	48.8	46.2	62.7	52.4
		50.6	50.4	53.8	59.5	56.5
		51.7	53.5	52.3	59.6	55.8
	平均±標準偏差	50.4 ^b ± 2.6	50.5 ^b ± 2.3	49.8 ^b ± 4.0	59.5 ^a ± 2.3	52.2 ^b ± 3.3
	5 ~ 10cm	49.0	49.8	47.5	54.8	47.7
		41.8	49.7	43.7	53.9	53.3
		47.1	51.9	50.6	54.9	49.9
		48.3	53.0	47.6	59.9	42.5
		44.8	58.9	51.3	61.1	50.9
		49.5	53.3	45.0	57.2	50.7
	平均±標準偏差	46.8 ^b ± 3.0	52.8 ^a ± 3.4	47.6 ^b ± 3.0	57.0 ^a ± 3.0	49.2 ^b ± 3.7

表-3-3 調査対象林分における土壌の理化学性

調査項目	表層からの深さ	ウダイカンバ 二次林	ウダイカンバ 人工林	カラマツ 人工林	トドマツ 人工林	トウヒ類 人工林
空気圧 6.19kPa の時の 体積 水分率 (容積%)	0 ~ 5 cm	39.4	34.4	34.7	42.4	34.6
		33.1	40.8	33.4	44.4	32.8
		37.9	43.3	35.1	38.6	35.7
		37.3	37.9	34.3	40.3	41.0
		31.2	41.7	39.7	48.0	41.1
	38.3	39.2	36.5	50.1	37.5	
	平均±標準偏差	36.2 ^b ± 3.3	39.6 ^{a b} ± 3.2	35.6 ^b ± 2.3	44.0 ^a ± 4.4	37.1 ^b ± 3.4
	5 ~ 10cm	37.2	40.3	36.6	37.1	35.8
		30.4	41.0	32.9	41.2	35.8
		40.4	42.6	41.4	39.7	37.3
35.3		42.4	39.0	39.7	35.5	
32.3		52.2	37.0	40.0	40.7	
38.5	42.7	37.2	49.4	39.4		
平均±標準偏差	35.7 ^b ± 3.8	43.5 ^a ± 4.4	37.4 ^b ± 2.8	41.2 ^{a b} ± 4.2	37.4 ^{a b} ± 2.2	
空気圧 49.15kPa の時の 体積 水分率 (容積%)	0 ~ 5 cm	33.5	31.3	28.9	35.3	30.3
		28.1	36.6	30.2	39.1	28.6
		32.6	40.0	30.7	33.6	31.2
		31.5	34.1	29.9	33.7	36.8
		25.5	38.2	34.8	39.3	36.9
	32.7	34.5	31.4	43.0	32.7	
	平均±標準偏差	30.7 ^b ± 3.2	35.8 ^{a b} ± 3.1	31.0 ^b ± 2.1	37.3 ^a ± 3.8	32.8 ^{a b} ± 3.4
	5 ~ 10cm	32.7	37.6	33.4	31.1	32.2
		25.5	37.4	30.1	37.2	31.2
		36.6	39.4	38.1	35.6	33.7
30.1		39.3	35.4	35.0	32.6	
26.6		47.1	33.2	36.5	37.3	
33.2	40.2	34.1	43.7	35.8		
平均±標準偏差	30.8 ^b ± 4.2	40.2 ^a ± 3.6	34.1 ^b ± 2.6	36.5 ^{a b} ± 4.1	33.8 ^b ± 2.3	
空気圧 1554.25 kPa の時の 体積 水分率 (容積%)	0 ~ 5 cm	22.7	22.2	17.5	25.4	18.0
		16.3	21.8	21.6	29.3	21.0
		23.7	27.0	17.7	25.0	19.9
		17.5	21.0	17.6	24.2	26.8
		12.7	26.8	23.0	25.9	28.0
	16.5	20.6	20.0	28.9	16.1	
	平均±標準偏差	18.2 ^b ± 4.2	23.2 ^{a b} ± 2.9	19.6 ^b ± 2.4	26.5 ^a ± 2.1	21.6 ^{a b} ± 4.8
	5 ~ 10cm	19.2	25.0	21.0	21.3	24.9
		13.4	24.3	19.7	26.5	19.7
		24.2	25.7	26.3	26.2	21.7
18.3		26.5	23.3	26.5	22.4	
15.4		32.8	22.6	25.9	24.7	
19.0	30.1	20.7	31.2	24.1		
平均±標準偏差	18.3 ^c ± 3.7	27.4 ^a ± 3.3	22.3 ^{b c} ± 2.4	26.3 ^{a b} ± 3.1	22.9 ^{b c} ± 2.0	

表-3-4 調査対象林分における土壌の理化学性

調査項目	表層からの深さ	ウダイカンバ 二次林	ウダイカンバ 人工林	カラマツ 人工林	トドマツ 人工林	トウヒ類 人工林
重力流去 水分率 (容積%)	0~5cm	14.1	15.1	18.9	18.8	14.3
		12.6	7.2	11.0	12.1	17.3
		12.0	9.7	13.6	18.6	14.0
		13.5	10.9	11.9	22.4	11.4
		19.4	8.6	14.1	11.5	15.4
		13.4	14.3	15.8	9.5	18.3
	平均±標準偏差	14.2 ^a ±2.7	11.0 ^a ±3.2	14.2 ^a ±2.9	15.5 ^a ±5.1	15.1 ^a ±2.5
	5~10cm	11.8	9.5	10.9	17.7	11.9
		11.4	8.6	10.8	12.7	17.5
		6.6	9.3	9.1	15.2	12.6
		12.9	10.6	8.5	20.2	7.0
		12.5	6.6	14.3	21.1	10.2
		11.0	10.6	7.7	7.8	11.3
	平均±標準偏差	11.0 ^{a,b} ±2.3	9.2 ^b ±1.5	10.2 ^b ±2.4	15.8 ^a ±5.0	11.8 ^{a,b} ±3.4
成長有効 水分率 (容積%)	0~5cm	5.9	3.0	5.8	7.0	4.3
		5.0	4.1	3.2	5.3	4.2
		5.3	3.2	4.4	5.0	4.5
		5.8	3.8	4.4	6.6	4.1
		5.7	3.5	4.8	8.6	4.1
		5.6	4.6	5.0	7.0	4.7
	平均±標準偏差	5.6 ^{a,b} ±0.3	3.7 ^c ±0.6	4.6 ^{b,c} ±0.9	6.6 ^a ±1.3	4.3 ^{b,c} ±0.2
	5~10cm	4.5	2.6	3.1	6.0	3.5
		4.8	3.6	2.8	4.0	4.5
		3.8	3.1	3.3	4.0	3.5
		5.2	3.1	3.6	4.6	2.8
		5.6	5.1	3.8	3.5	3.3
		5.3	2.5	3.1	5.6	3.6
	平均±標準偏差	4.9 ^a ±0.7	3.3 ^c ±1.0	3.3 ^c ±0.4	4.6 ^{a,b} ±1.0	3.5 ^{b,c} ±0.6
全有効 水分率 (容積%)	0~5cm	16.7	12.2	17.2	17.0	16.6
		16.8	19.0	11.8	15.1	11.8
		14.2	16.3	17.4	13.6	15.8
		19.8	16.9	16.7	16.1	14.2
		18.5	14.9	16.7	22.1	13.1
		21.8	18.6	16.5	21.2	21.4
	平均±標準偏差	18.0 ^a ±2.7	16.3 ^a ±2.5	16.1 ^a ±2.1	17.5 ^a ±3.4	15.5 ^a ±3.4
	5~10cm	18.0	15.3	15.6	15.8	10.9
		17.0	16.7	13.2	14.7	16.1
		16.2	16.9	15.1	13.5	15.6
		17.0	15.9	15.7	13.2	13.1
		16.9	19.4	14.4	14.1	16.0
		19.5	12.6	16.5	18.2	15.3
	平均±標準偏差	17.4 ^a ±1.2	16.1 ^a ±2.2	15.1 ^a ±1.2	14.9 ^a ±1.9	14.5 ^a ±2.1

*平均及び標準偏差以外は生データである。**アルファベットの違いは林分間の有意差 ($\alpha = 0.05$) を示す。

表-3-5 調査対象林分における土壌の理化学性

調査項目	表層からの深さ	ウダイカンバ 二次林	ウダイカンバ 人工林	カラマツ 人工林	トドマツ 人工林	トウヒ類 人工林
生根 体積率 (容積%)	0 ~ 5 cm	1.4	2.1	1.2	1.4	2.1
		1.2	1.9	0.5	0.2	4.4
		0.9	1.2	1.2	0.5	1.4
		0.2	0.9	4.4	1.4	0.5
		0.5	0.5	0.5	0.2	0.5
		0.2	0.9	0.7	0.2	2.8
	5 ~ 10cm	1.2	0.9	0.2	0.9	0.2
		0.9	2.6	0.2	0.5	0.9
		0.2	0.2	0.2	0.9	0.2
		0.2	0.2	0.7	0.2	0.5
		0.2	0.9	0.5	0.2	2.8
		2.8	0.2	0.2	0.2	0.5
		0.0	0.0	0.2	0.0	0.0
		1.2	0.0	0.1	0.8	0.0
礫 体積率 (容積%)	0 ~ 5 cm	0.1	0.5	1.5	0.0	0.0
		1.6	6.9	0.0	0.0	0.0
		0.0	0.6	0.1	0.0	0.0
		0.0	1.3	0.0	0.0	0.0
		0.0	2.0	1.3	2.7	7.3
	5 ~ 10cm	8.0	0.1	1.0	3.6	0.0
		0.0	1.3	0.0	1.3	0.0
		0.0	1.0	0.0	7.3	0.0
		0.0	2.7	0.0	0.0	0.0
		0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
細土 体積率 (容積%)	0 ~ 5 cm	42.7	31.3	37.8	37.5	41.7
		48.4	38.5	47.9	39.4	32.2
		43.9	43.5	39.2	32.9	39.7
		42.7	36.6	41.8	33.7	44.8
		41.6	46.8	39.8	40.7	44.2
		47.7	33.4	42.5	39.6	35.1
	5 ~ 10cm	47.8	42.6	50.1	42.0	42.9
		45.9	47.7	50.5	41.4	43.9
		52.0	47.0	48.4	41.3	47.2
		46.9	44.3	50.7	40.2	47.4
		46.6	44.2	41.3	48.6	50.0
		47.3	42.2	54.1	43.2	48.8